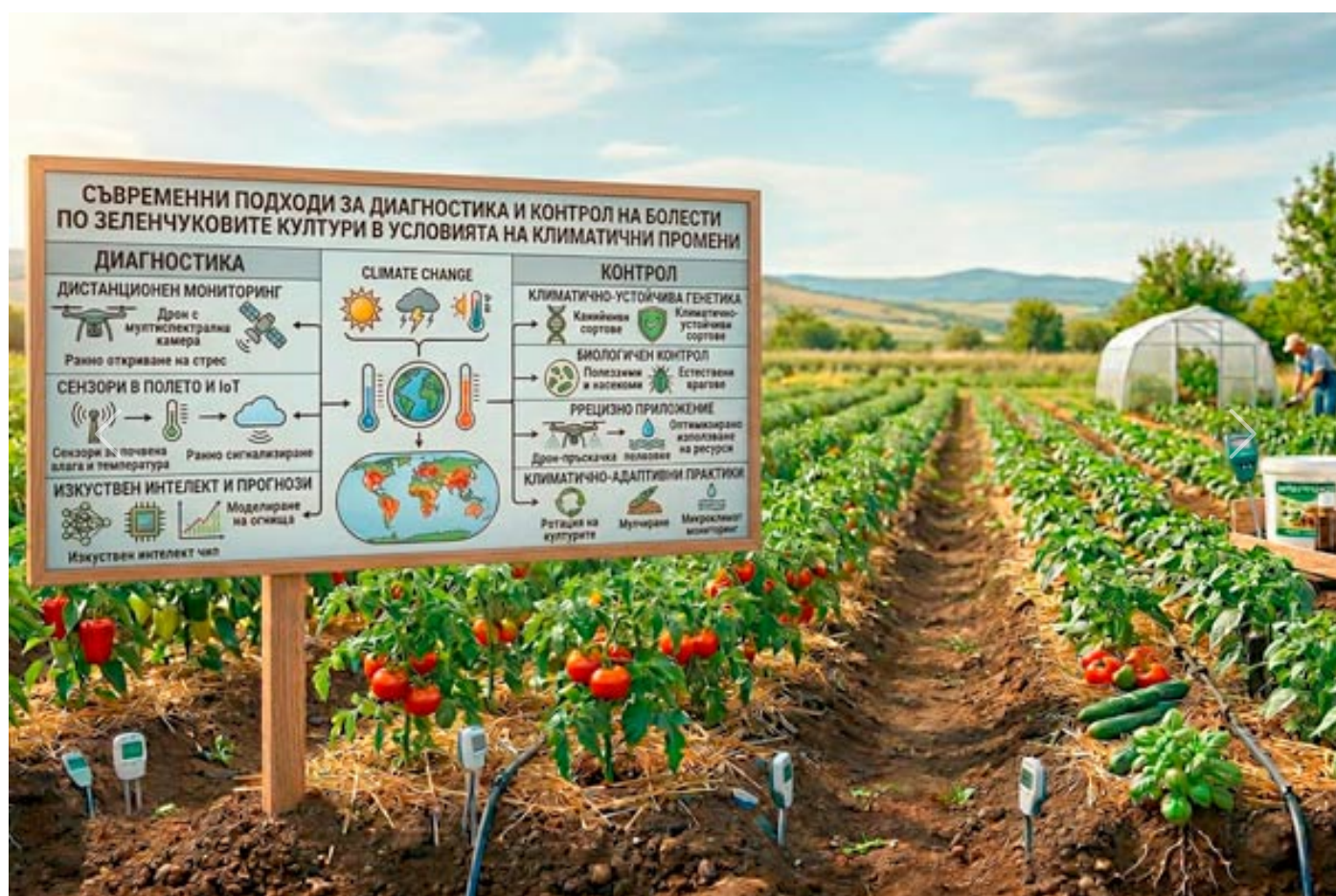


İklim Değişikliği Koşullarında Sebze Hastalıklarının Teşhisi ve Kontrolü için Modern Yaklaşımlar

Автор(и): гл. ас. д-р Катя Василева, ИЗК "Марица" - Пловдив

Дата: 25.03.2026 Брой: 3/2026



Özet

İklim değişikliği, sebze hastalıklarının dinamiklerini önemli ölçüde değiştirerek patojen gelişimini hızlandırıyor, inokulum hayatta kalma oranını artırıyor ve salgın çıkışlarını daha sık hale getiriyor. Artan sıcaklıklar, aşırı yağışlar ve kuraklık dönemleri, virüs, bakteri ve fungal patojenlerden kaynaklanan enfeksiyonları kolaylaştıran koşullar yaratıyor. Bu koşullar altında, örtüşen semptomlar ve stres kaynaklı değişiklikler nedeniyle geleneksel teşhis yöntemleri genellikle

yetersiz kalıyor. Modern yaklaşımlar arasında hızlı immünokromatografik testler, moleküler yöntemler, hiperspektral teşhis, drone teknolojileri ve tahmine dayalı modeller yer alıyor. Etkili hastalık yönetimi, dayanıklı çeşitler, biyofungisitler, biyostimulantlar ve optimize edilmiş tarımsal uygulamaları içeren entegre bir yaklaşım gerektiriyor. Geleneksel ve modern teşhis araçlarının, uzman fitopatolojik değerlendirme ile desteklenen kombinasyonu, iklim değişikliği koşullarında sürdürülebilir üretimin anahtarıdır.

Bitki hastalıkları, verim, kalite ve agroekosistem dayanıklılığında önemli yıllık kayıplara neden olarak modern tarımın en ciddi zorluklarından biri olmaya devam etmektedir. Fang ve Ramasamy'e (2015) göre, patojenlerin neden olduğu kayıplar "%20 ile %40 arasında" değişmekte ve küresel gıda güvenliğini tehdit eden kilit bir faktörü temsil etmektedir. İklim değişikliği, yoğun üretim sistemleri ve küreselleşmiş ticaret akışları koşullarında, salgın riski, yeni ırkların ortaya çıkması ve istilacı patojenlerin yayılması önemli ölçüde artmaktadır (Jurossek & von Tiedemann, 2011).

Etkili hastalık yönetimi, birbiriyle ilişkili iki yön gerektirir: kesin ve zamanında teşhis ile biyolojik, tarımsal, kimyasal ve dijital yaklaşımları entegre eden sürdürülebilir kontrol stratejileri. Son on yıllarda, teşhis derin bir dönüşüm geçirdi – görsel değerlendirme ve mikroskopiden moleküler yöntemlere, yüksek verimli fenotipleme platformlarına, uzaktan algılayıcılara ve derin öğrenme algoritmalarına. Balodi ve ark.'nın (2017) belirttiği gibi, "hastalık teşhisi bilimi, görsel incelemeden oldukça hassas serolojik ve moleküler tekniklere doğru evrilmiştir," bu da tespitin doğruluğunu ve hızını önemli ölçüde artırmıştır.

Buna paralel olarak, hastalık kontrolü kavramı da tek taraflı kimyasal çözümlerden, entegre, ekolojik ve evrimsel açıdan sağlam yönetime doğru kaymaktadır. He ve ark. (2016), sürdürülebilir yönetimin "bitki büyümesi için elverişli, patojen üremesi ve evrimi için elverişsiz koşullar yaratması" gerektiğini vurgulayarak, Direnç, Kaçınma, Eliminasyon, İyileştirme (DKEE) kombinasyonunu önermektedir. Yeni eğilimler arasında biyolojik mücadele, bitki ekstreleri, genetik yaklaşımlar, tahmine dayalı modeller ve dijital karar destek sistemleri yer almaktadır (Mukhtar ve ark., 2023).

Bu bağlamda, iki kilit yöndeki çağdaş bilimsel ilerlemeler özetlenmiştir:

- (1) klasik, optik ve yapay zeka tabanlı yöntemleri içeren bitki hastalıklarının teşhisi;
- (2) ekolojik, biyolojik, genetik ve teknolojik yaklaşımları dikkate alan kontrol ve entegre yönetim.

Bu ikili odak, teşhisteki ilerlemelerin dinamik olarak değişen agroekosistemler bağlamında nasıl daha kesin, sürdürülebilir ve uyarlanabilir hastalık yönetimini desteklediğini izlemeyi sağlar.

Etkili teşhis, herhangi bir hastalık yönetimi stratejisinin temelidir. Doğru kararı belirler, kayıpları en aza indirir ve kontrol için erken müdahaleye olanak tanır. Balodi ve ark.'nın (2017) vurguladığı gibi, "hastalık teşhisi bilimi, görsel incelemeden... oldukça hassas serolojik ve moleküler tekniklere doğru evrilmiştir." Modern yaklaşımlar üç ana yönde gruplandırılabilir: klasik laboratuvar yöntemleri, optik ve uzaktan teknolojiler ve yapay zeka.

ELISA, immünofloresan ve hızlı immünokromatografik testler gibi serolojik teknikler, özgüllükleri ve tarla koşullarında uygulanabilirlikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir. ELISA, "görsel renk değişimi kolay tespit sağlar" (Fang & Ramasamy, 2015) ifadesiyle en yaygın yöntemlerden biridir. Ancak, bakteriyel patojenler için duyarlılık sınırlıdır.

Özellikle PCR ve varyantları (nested, multiplex, real time) olmak üzere moleküler yöntemler en yüksek doğruluğu sunar. Balodi ve ark. (2017), PCR tabanlı analizlerin "özgöl, hassas, verimli, hızlı ve nispeten ekonomik" olduğunu belirtmektedir. Real-time PCR, kantitatif değerlendirmeye olanak tanır ve özellikle tohum testi ve karantina patojenleri için değerlidir.

Fenotipleme platformları (klorofil floresansı, hiperspektral ve termal görüntüleme) tahribatsız ve tekrarlanabilir gözlem sağlar. Balodi ve ark.'na (2017) göre "bu yöntemler tahribatsızdır... ve lokalize reaksiyonların görselleştirilmesine izin verir." Hiperspektral teşhis, görünür semptomlar ortaya çıkmadan önce fizyolojik değişiklikleri yakaladığı için erken tespit için özellikle umut vericidir.

Fang ve Ramasamy (2015), hiperspektral tekniklerin "yansıma değişiklikleri yoluyla hastalıkların tanımlanmasında yaygın olarak kullanıldığını" vurgulamaktadır. Termografi ve floresans analizi tamamlar ancak dış koşullara duyarlıdır ve genellikle diğer yöntemlerle kombinasyon gerektirir.

Son yıllarda, derin öğrenme otomatik hastalık tanıma için kilit bir araç haline gelmiştir. Li ve ark. (2021), "derin öğrenme, manuel özellik seçiminin kusurlarından kaçınır... ve özellik çıkarımını daha nesnel hale getirir" demektedir. AlexNet, GoogLeNet, ResNet ve DenseNet gibi CNN mimarileri, kontrollü veri setlerinde %95-99'un üzerinde doğruluk oranlarına ulaşmaktadır. Saleem ve ark. (2019), GoogLeNet'in PlantVillage üzerinde AlexNet'ten daha iyi performans gösterdiğini ve Demilie (2024), CNN'lerin "mekansal hiyerarşileri yakalama yetenekleri nedeniyle... genellikle

tercih edilen seçim olduğu" sonucuna varmıştır. Ancak, gerçek tarla koşulları bir zorluk olmaya devam etmekte ve uzaktan algılayıcılar ve tahmine dayalı sistemlerle birleştirilmiş daha karmaşık modeller gerektirmektedir.

Modern kontrol stratejileri, kimyasal ağırlıklı yaklaşımlardan, entegre, ekolojik yönelimli ve evrimsel açıdan sürdürülebilir sistemlere doğru evrilmektedir. Ana hedef, verimliliği ve ekolojik dengeyi korurken patojen baskısını azaltmaktır.

İklim değışikliği hastalık epidemiyolojisini değıştirmekte ve uyarlanabilir stratejiler gerektirmektedir. Juroszek ve von Tiedemann (2011), "önleyici tedbirlerin... gelecekte özellikle önemli hale gelebileceğini" belirtmektedir. Mukhtar ve ark. (2023), EHY'nin "mevcut koşullar altında en uygun ve ilgili yöntem olduğunu" vurgulamaktadır. Yeni eğilimler şunları içerir: bitki ekstreleri – örn. *Lantana camara*, ekstreleri "*Pyricularia oryzae* ve *Xanthomonas* spp. büyümesini baskılar"; genetik yaklaşımlar – AtMYB12 gibi düzenleyicilerin ekspresyonu, "flavonoid seviyelerini ve birkaç patojene karşı direnci artırır"; patojen kaynaklı direnç (PDR) – virüslere karşı transgenik stratejiler.

Teşhis ve yapay zeka tabanlı sistemler, yönetimi şu yollarla destekler: salgınların erken tespiti ve lokalizasyonu; gereksiz uygulamaların azaltılması; tahmine dayalı modellerle entegrasyon; etkinlik ve direnç izlemi.

Demilie'nin (2024) belirttiği gibi, Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme "tespit ve sınıflandırmanın performansını ve hızını iyileştirir," bu da onları modern EHY sistemlerinin kilit bir bileşeni haline getirir.

Modern teşhis ile entegre yönetim arasındaki sinerji, kesin, etkili ve ekolojik açıdan sürdürülebilir tarım için yeni fırsatlar yaratır. Bu kombinasyon, sadece kayıpları azaltmakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki zorluklara yanıt verebilen daha dayanıklı agroekosistemler inşa etmeyi de sağlar.

Materyal ve Metot

Sebze ürünlerini etkileyen başlıca patojenler virüsler (TSWV, ToMV, PMMoV, PVY), bakteriler (*Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Clavibacter*) ve *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Alternaria* ve *Botrytis* gibi fungal patojenlerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Patates mildiyösü, biberde vertisilyum solgunluğu, biberde bakteriyel leke, domateste bakteriyel kanser semptomları

İklim değişikliği, "artan sıcaklıklar → daha hızlı patojen gelişimi" ve "daha uzun yetiştirme sezonları → daha fazla enfeksiyon döngüsü" ile sonuçlanır. Teşhis amaçlarıyla hem geleneksel hem de modern yöntemler kullanılmıştır. İlk değerlendirme, "semptomlar farklı patojenler veya abiyotik faktörler arasında örtüşebilir" ifadesiyle hızlı ancak öznel